

*Ларченко В. Г., Мележик А. И., *Коваленко Е. В.
Донбасский государственный технический университет
E-mail: ck@dontu.ru

ЗАВИСИМОСТЬ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ КАЧЕСТВА ПРОЕКТА ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Приведены необоснованные технические решения на стадии планирования горных выработок, ставшие причиной концентрации максимальных деформаций земной поверхности, приведшие к сверхдопустимому крену шахтного копра, простоя шахты, разрыву трубы оросительной системы, образованию трещин земной поверхности шириной до 0,8 м и уступов высотой более 0,3 м.

Ключевые слова: *качество инженерного обеспечения проектных работ, причины концентрации деформаций земной поверхности, снижение потерь угля в целиках, экономическая эффективность шахт.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Эффективность работы угольных шахт Донбасса зависит от многих горнотехнических, геологических факторов и качества инженерного обеспечения на всех этапах разведочных, проектных и горных работ. Около 25 % оставшихся балансовых запасов угля в Донбассе находятся под застроенными территориями, коммуникациями и природными объектами, безопасная разработка которых возможна только с внедрением мер их защиты. Вертикальные шахтные стволы с копрами и подъемными машинами защищают от вредного влияния подземных разработок предохранительными целиками. Границы предохранительных целиков для охраны вертикальных стволов определяют от защищаемого участка, который должен включать стволы, копры, подъемные машины, надшахтные здания и берму, как и было сделано на шахте «Павлоградская». Но копер шахты наклонился на величину, больше допустимого крена. Причиной наклона копра явилось одновременное совмещение двух факторов: одностороннего отхода очистного забоя от границы предохранительного целика, вызвавшего оседание и наклон земной поверхности по направлению движения очистного забоя с последующим дренированием плавунцов по образовавшимся трещинам основной кров-

ли пласта; бурения скважины над этой же лавой и использования воды из плавунцов для технических нужд шахты. Работа шахты была остановлена. Только после восстановления копра в вертикальное положение, подъемной машины, рельсовых путей мостовых кранов промплощадки в горизонтальное положение результаты ошибочных решений были исправлены, и шахта возобновила добычу угля.

От разведки месторождений полезных ископаемых (МПИ), проектирования, работы горных предприятий качество технических решений влияет на параметры сдвижений и деформаций земной поверхности, выбор мер охраны подрабатываемых сооружений и на эффективность угольной отрасли. Выявление малоамплитудных тектонических нарушений на стадии детальной геологической разведки МПИ является полезным, необходимым при планировании подготовительных и очистных выработок, позволит исключить строительство зданий над выходами сместителей нарушений под наносы, чем минимум в два раза уменьшит деформации земной поверхности и обеспечит возможность своевременно внедрить меры защиты подрабатываемых сооружений и коммуникаций.

При выборе участка под промышленную площадку шахты необходимо учитывать: рельеф местности с целью исключе-

ния затопления стволов паводковыми или дождевыми водами; свести к минимуму объем земляных работ при строительстве зданий, проектировании железной и автодороги; розу ветров при планировании административно-бытового комбината, сооружений и коммуникаций, породного отвала, угольного бункера, что в совокупности позволит уменьшить стоимость строительства шахт и обеспечит более благоприятные условия в период рациональной добычи угля.

Целью работы является анализ влияния и повышение качества инженерных решений на всех этапах освоения полезных ископаемых для исключения концентрации деформаций земной поверхности и снижения стоимости мер защиты подрабатываемых сооружений и коммуникаций.

Объект исследования — концентрация максимальных деформаций подработанной земной поверхности при добыче угля подземным способом.

Предмет исследования — причины концентрации сдвижений и деформаций подработанного массива горных пород и земной поверхности при подземной разработке свиты угольных пластов.

Изложение материала. Анализ влияния технических решений и качества инженерных проектов на всех этапах подземной разработки угольных месторождений необходим для повышения эффективности горных предприятий, снижения потерь и себестоимости тонны угля. Определение малоамплитудных тектонических нарушений толщи горных пород на стадии детальной геологической разведки и выходов плоскостей сместителей нарушений под четвертичные отложения позволит определить участки концентрации максимальных сдвижений и деформаций земной поверхности при подработке над нарушениями, исключить строительство зданий и коммуникаций на этих участках или своевременно внедрить оптимальные меры защиты планируемых к подработке объектов, так как над выходами нарушений под

наносы горизонтальные деформации растяжений минимум в два раза больше растяжений над разрезной печью (рис. 1), которые считались максимальными. Этот, установленный инструментальными равноточными наблюдениями, факт необходимо учитывать при планировании сооружений и коммуникаций на подрабатываемых территориях.

При планировании зданий и коммуникаций за пределами промышленной площадки необходимо определять допустимые деформации по методике «Правил подработки...» [1] и ожидаемые деформации по методике ДонГТУ [2–5]. Если ожидаемые деформации земной поверхности превышают допустимые, то подработка зданий и коммуникаций должна производиться с применением мер их защиты. Если принятые меры защиты не обеспечивают нормальных условий эксплуатации подрабатываемых сооружений или экономически не являются целесообразными, то под такими объектами необходимо оставлять предохранительные целики. Размеры предохранительных целиков под вертикальные стволы с жесткой крепью, оборудованных постоянным подъемом, копрами, в соответствии с «Правилами ...» [1, 6] рекомендовано определять на вертикальных разрезах по углам охраны $\delta_1 = \gamma_1 = 75^\circ$; $\beta_1 = \delta_1 - 0,8\alpha$. $\delta = 63^\circ$ при $\alpha = 15^\circ$ независимо от глубины подработки Н, что противоречит теоретическим исследованиям [2–5] и натурным наблюдениям в антрацитовых районах Восточного Донбасса [7]. При глубине залегания пласта 1000 м, мощности пласта 1 м марки угля антрацит построен предохранительный целик под промышленную площадку шахты размером 100 на 100 метров с двумя вертикальными стволами, копрами, подъемными машинами по методике «Правил...» [1] (рис. 2, трапеция 1–4, показанная пунктирными линиями). Размер бермы 20 метров. Площадь предохранительного целика, построенного по методике [1], составила 623795 м^2 .

В тех же горно-геологических условиях в антрацитовых районах Донбасса построен предохранительный целик под промышленную площадку шахты аналогичных размеров с двумя вертикальными стволами по методике ДонГТУ [2–5] (рис. 2, трапеция 5–8). Площадь целика, построенного по методике ДонГТУ, равна 263625 м². Разность площадей целиков по двум методикам составила 360170 м². При плотности антрацита 1,5 т/м³ потери угля в целиках по методике ДонГТУ на 540250 т меньше, чем по методике «Правил...» [1]. Значит, балансовые запасы угля шахты в этом случае на 540 тысяч тонн больше, чем по методике [1], что позволит существенно увеличить продолжительность и улучшить эффективность работы шахты.

31

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

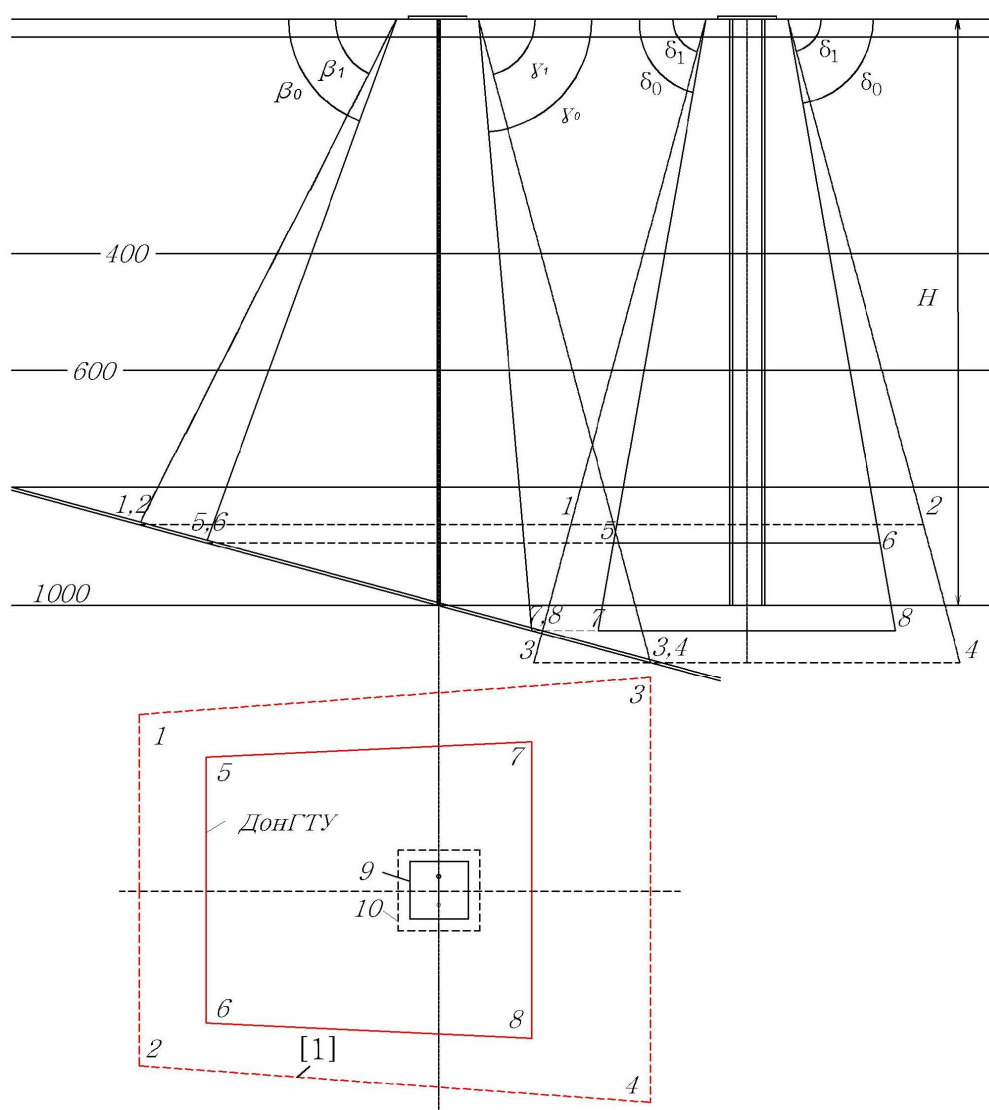


Рисунок 2 — Построение предохранительного целика под промышленную площадку шахты по методикам [1] (трапеция 1–4) и ДонГТУ (трапеция 5–8)

В процессе планирования подготовительных и очистных выработок следует избегать отношений размеров выработанного пространства D к глубине подработки H , равных 0,5, на длительное время, чтобы не произошло суммирование горизонтальных деформаций сжатий (и аналогично кривизны вогнутости) от двух полумульд (рис. 1, ломаные 2, 3; рис. 3), которые в 1,2 раза больше максимальных растяжений ϵ_p (рис. 1, ломаная 1) над монтажной камерой, принимаемых за максимальные при выборе мер защиты подрабатываемых объектов. При дальнейшем увеличении размеров вы-

работанного пространства, увеличении отношений D_1/H горизонтальные деформации сжатий на участке их концентрации уменьшаются в 2,3 раза (рис. 1, ломаная 5), что установлено частотными равноточными инструментальными наблюдениями над движущимися очистными забоями (наблюдательные станции № 12, 13 лавы 606, 604 шахты «Степная»).

Над оставленным у тектонического нарушения амплитудой менее одного метра целиком шириной 30 м произошло суммирование горизонтальных деформаций растяжений ϵ_p (рис. 1, ломаная 4;

станция № 12, лава 606) и аналогично кривизны выпуклости как результат сложения деформаций растяжений над остановленным забоем у целика и над вновь образующейся динамической полумульдой за целиком (рис. 3). Суммарное значение горизонтальных деформаций растяжений над целиком достигло величины $+19,3 \cdot 10^{-3}$, что более чем в четыре раза превысило растяжения над движущимся очистным забоем (рис. 1, ломаная 6) в аналогичных горно-геологических условиях, и указывает на необходимость выявления малоамплитудных тектонических нарушений геологической разведкой с целью исключения строительства сооружений и коммуникаций над ними или внедрения специальных мер защиты подрабатываемых объектов.

Особо ответственного планирования подготовительных и нарезных горных выработок требует разработка свиты сближенных пластов, где поднятие почвы дренажного штрека, расположенного на 10 м выше кровли разрабатываемого пласта труднодоступного репера № 7, на 15.05 достигло 470 мм (рис. 4). Процесс конвергенции пород продолжался, но проводить геометрическое нивелирование реперов № 7–11 в дренажном штреке на следующие даты наблюдений (рис. 4) не представилось возможным по причине активизации конвергенции в зоне опорного давления.

После разработки трех сближенных пластов с совпадающими в плане подготовительными и нарезными выработками шахтой «Первомайская» ПО «Павлоградуголь» происходило нарастающее увеличение сдвижений и деформаций при повторных подработках по образовавшимся трещинам от первичной подработки. Суммирование горизонтальных сдвижений и деформаций от повторных подработок вызвало образование трещины разрыва земной поверхности над разрезными печами на всю их длину шириной до 0,8 м [3, рис. 6], которые даже зерноуборочный комбайн обходил. Над совпадающими в плане бортовыми штреками после разработки трех угольных пла-

стов на глубинах 135–170 м в полумульдах по простиранию пластов от суммарных сдвижений и деформаций образовались трещины разрыва земной поверхности с уступом более 0,3 м и глубиной 2,5 м над всей длиной выемочного столба (рис. 5). Концентрация сдвижений и деформаций земной поверхности при разработке свиты сближенных пластов угля и совпадении в плане нарезных и подготовительных выработок приводит к повреждениям коммуникаций [3] с возможными тяжелыми последствиями, так как в Донбассе развита сеть железных дорог, автомагистралей с транспортировкой грузов различной опасности, газопроводы, водоводы, нефтепровод и плотины водохранилищ.

Исключить приведенные концентрации максимальных деформаций земной поверхности и подрабатываемых объектов можно смещением в плане нарезных выработок (монтажных камер) на половину длины полумульды по падению пластов L_1 (формула 1), границ остановок очистных забоев по восстановлению пластов на половину длины полумульды L_2 (формула 2) или смещением в плане бортовых подготовительных выработок на половину длины полумульды по простиранию пласта L_3 (формула 3):

$$L_1 = H_1 [\operatorname{ctg} \beta_0 + \operatorname{ctg} (\psi_1 + \alpha)], \text{ м,} \quad (1)$$

$$L_2 = H_2 [\operatorname{ctg} \gamma_0 + \operatorname{ctg} (\psi_2 - \alpha)], \text{ м,} \quad (2)$$

$$L_3 = H_{cp} (\operatorname{ctg} \delta_0 + \operatorname{ctg} \psi_3), \text{ м,} \quad (3)$$

где H_1 , H_2 , H_{cp} — глубины соответственно над разрезной печью в полумульде по падению и над границей целика в полумульде по восстановлению пласта; средняя глубина (рис. 2);

β_0 , γ_0 , δ_0 — граничные углы соответственно в полумульдах по падению, восстановлению и простиранию пластов [2];

ψ_1 , ψ_2 , ψ_3 — углы полных сдвижений в полумульдах по падению, восстановлению и простиранию пластов [2];

α — угол залегания пластов.

Внедрение смещений в плане совпадающих нарезных и подготовительных выработок на половину длин полумульд при повторных подработках более чем в два раза позволит уменьшить максимальные деформации земной поверхности, сооружений и коммуникаций. При синхронной разработке двух сближенных пластов и

смещении в плане монтажных камер на половину длины полумульды L_1 , а бортовых подготовительных выработок на половину L_3 в итоге получим компенсацию деформаций земной поверхности с разными знаками (растяжений со знаком «+», сжатий со знаком «-», кривизны выпуклости и вогнутости).

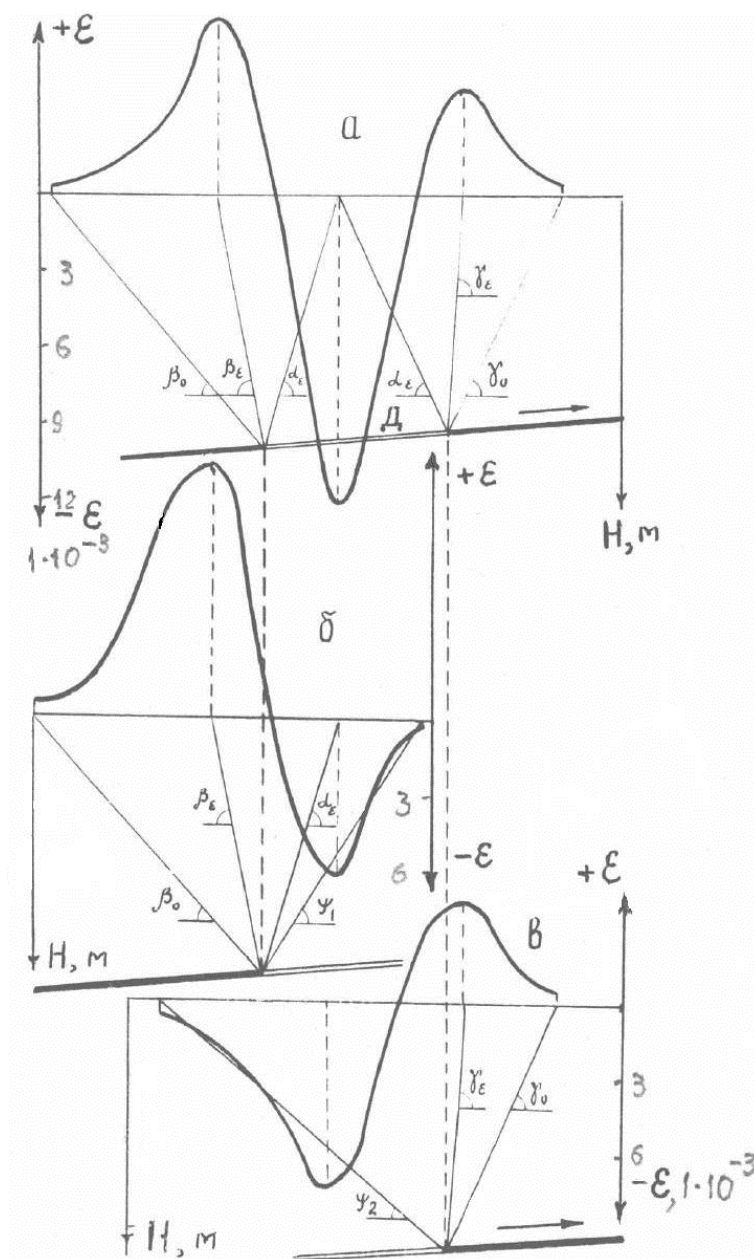


Рисунок 3 — Схема концентрации горизонтальных деформаций сжатий ϵ_c земной поверхности (а); кривые горизонтальных деформаций при отходе очистного забоя от целика (б); кривые деформаций над движущимся очистным забоем в процессе образования динамической полумульды (в)

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

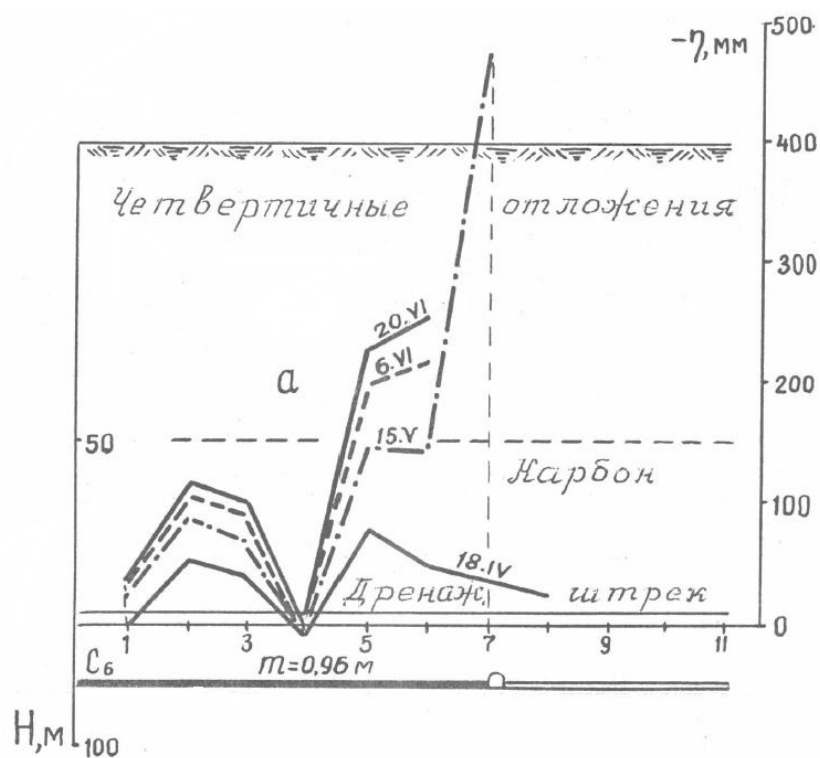


Рисунок 4 — Графики поднятий (пучения) пород почвы дренажного штрека в зоне опорного давления по станции № 12, лава 606 шахты «Степная»



Рисунок 5 — Трещина с уступом над совмещенными в плане бортовыми штреками после разработки трех сближенных пластов шахтой «Первомайская», станция № 11

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Равноточными инструментальными наблюдениями установлено, что граничные углы γ_0 и углы полных сдвижений ψ_2 по критерию наклонов больше, чем по критерию горизонтальных деформаций. Следовательно, длины полумульд L_ϵ по критерию горизонтальных деформаций на

40 % больше длин полумульд по критерию наклонов L_i (рис. 6), что необходимо учитывать при выборе мер защиты сооружений различного вида (башенного копра, которому опасными являются наклоны, или газопровод, для которого опасны горизонтальные деформации).

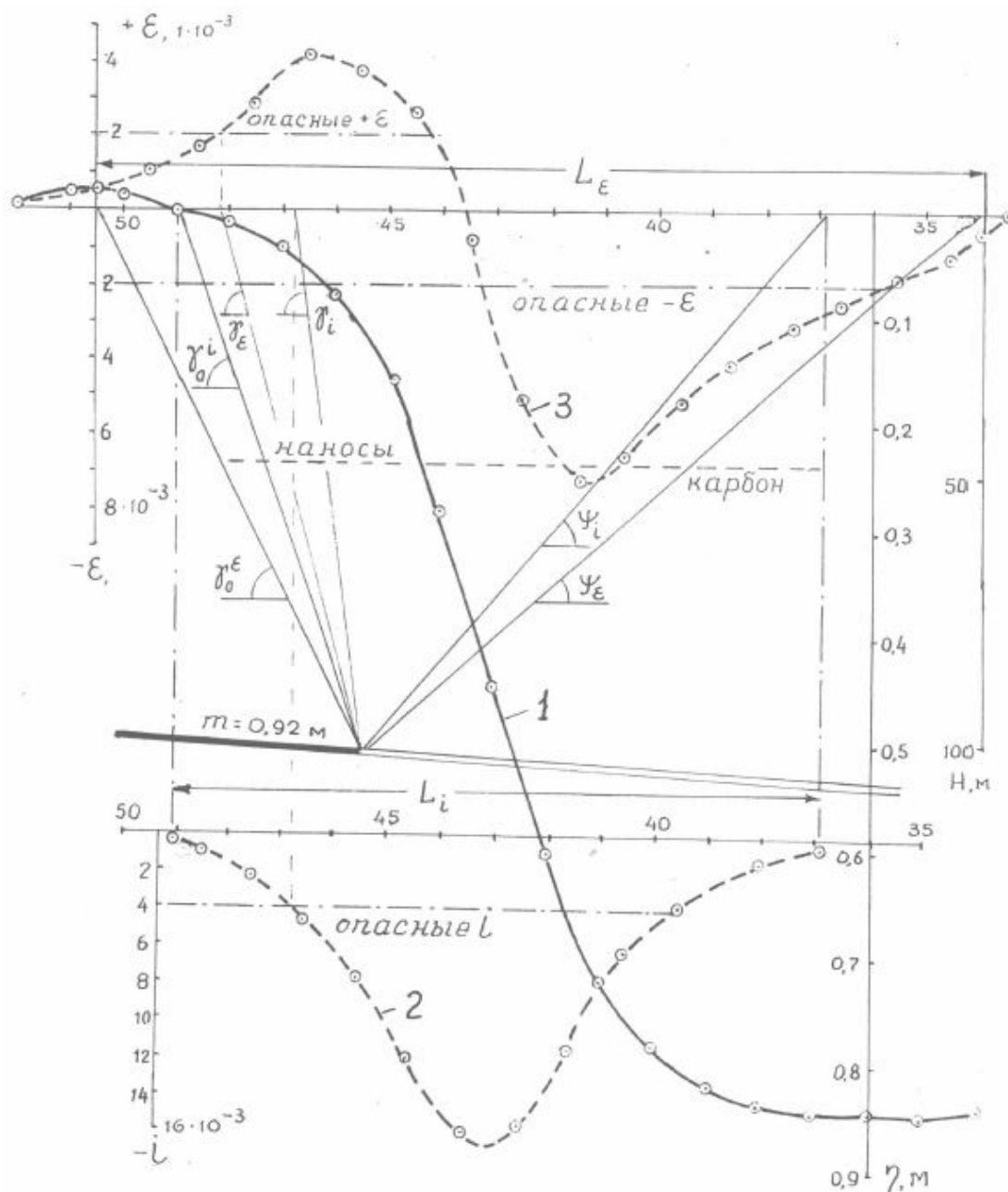
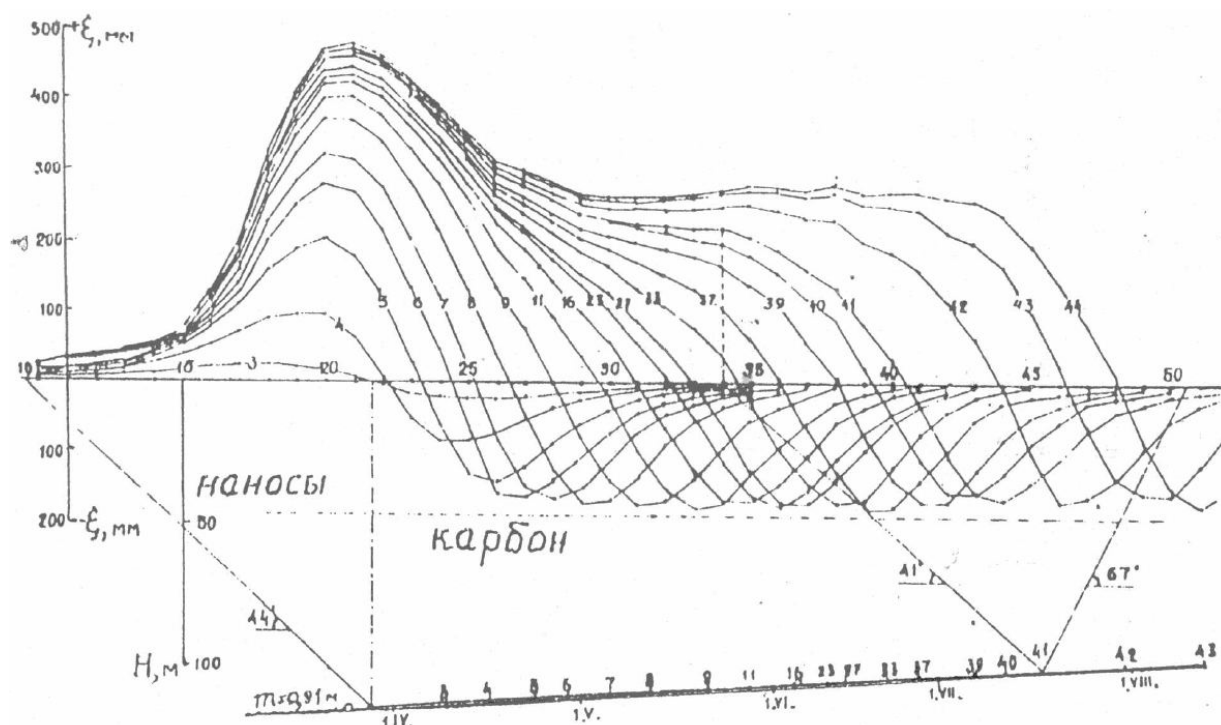


Рисунок 6 — Графики оседаний земной поверхности (1), наклонов (2) и горизонтальных деформаций (3) над движущимся очистным забоем по станции № 13, лава 604 шахты «Степная» ПО «Павлоградуголь»

После остановки очистного забоя у границы шахты (блока) оседания земной поверхности за счет уплотнения подработанной толщи и дренирования плавунув увеличались на 3 %, горизонтальные деформации растяжений — до 4 %, а наклоны земной поверхности уменьшились на 5 %.



37

Выводы:

1. В период отсутствия действующих нормативных «Правил ...» [1, 6] и с ежегодным увеличением глубины очистных работ для расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности, необходимых для выбора мер защиты подрабатываемых зданий, сооружений, коммуникаций и природных объектов в Восточном Донбассе, рекомендуем использовать скорректированную и подтвержденную натурными наблюдениями [7] методику ДонГТУ [2–5], внедрение которой только на одной шахте позволит сократить потери антрацита в целике под промышленную площадку по пласту мощностью 1 м на глубине 1000 м на 540 тысяч тонн (рис. 2).

2. Приведенные факты необоснованных инженерных решений, которые вызвали концентрацию деформаций земной поверхности и причинили экономический ущерб аграрному сектору после разрыва трубы водоема для полива овощных культур при повторной подработке [3] (станция № 8 шахты «Степная»), привели к простоя шахты «Павлоградская» и затратам на устранение крена копра, образованию трещин разрыва земной поверхности шириной до 0,8 м [3] и с уступом более 0,3 м (рис. 5) после разработки трех сближенных пластов над совпадающими в плане нарезными и подготовительными выработками (станция № 11, шахта «Первомайская»), вызывают дополнительные затраты средств и могут привести к тяжелым последствиям при подработке сооружений и разветвленной сети коммуникаций в Донбассе.

3. Для обучающихся по специализации «Маркшейдерское дело» и маркшейдеров-

производственников в работах [2–5] приведены угловые параметры процесса сдвижения, вычисленные по методике ДонГТУ длины полумульд L_1 , L_2 , L_3 , величины сдвижений и деформаций земной поверхности в главных сечениях мульд вкрест и по простиранию пологих угольных пластов марок А, Ж, Д, Г, мощностью 1 м, при отношениях мощности наносов h к глубине H менее 0,3, в условиях полной подработки и глубинах от 100 до 1300 м с целью оптимального планирования очистных работ под застроенными территориями, исключения концентрации деформаций под сооружениями, выбора эффективных мер защиты подрабатываемых объектов, сокращения потерь балансовых запасов угля, повышения рентабельности шахт Донбасса.

4. Относительные величины максимальных оседаний земной поверхности q_o , горизонтальных сдвижений α_o , коэффициентов остаточных расслоений подработанного массива пород K_p , увеличения угловых параметров при глубинах очистных работ более 600 м K_y требуют подтверждения по мере накопления результатов натуральных инструментальных наблюдений.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на организацию и проведение натуральных инструментальных наблюдений для определения параметров процесса сдвижения земной поверхности при добыче угля на больших глубинах, подтверждения коэффициентов формул расчета ожидаемых сдвижений и деформаций подрабатываемых сооружений q_o , α_o , K_p и K_y , зависящих от степени метаморфизма толщи горных пород, глубины очистных работ и, при необходимости, на их корректировку.

Список источников

1. ГСТУ 101.00159226.001-2003. *Отраслевой стандарт Украины. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом*. К. : УкрНИМИ НАН Украины, 2004. 128 с.
2. Ларченко В. Г., Коваленко Е. В., Маталкина Ю. А. *Корректировка методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности при подработке на больших глубинах // Наукоемкие технологии и оборудование в промышленности и строительстве. 2024. Вып. 3 (77). С. 30–40. EDN HAJRFF*

3. Ларченко В. Г., Коваленко Е. В., Хоружая Н. В. Методика расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности в полумульдах вкрест простирания пластов // *Наукоемкие технологии и оборудование в промышленности и строительстве*. 2024. Вып. 5 (79). С. 33–46. EDN MKKBPJ

4. Ларченко В. Г., Коваленко Е. В., Маталкина Ю. А. Зависимость сдвижений и деформаций земной поверхности от глубины подработки // *Труды РАНИМИ: VI международная научно-техническая конференция «Горная геология, геомеханика и маркшейдерия»* : сб. науч. тр. Донецк : РАНИМИ МО и Науки ДНР, 2019. № 8 (23). Ч. 1. С. 125–134.

5. Ларченко В. Г., Маталкина Ю. А. Сдвигение горных пород при добыче угля подземным способом : учебное пособие. Алчевск : ФГБОУ ВО ДонГТУ, 2024. 147 с.

6. ПБ 07-269-98. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. СПб. : Межотраслевой науч. центр ВНИМИ, 1998. 291 с.

7. Посыльный Ю. В., Джулай А. А., Тетерин Е. А. Максимальные оседания земной поверхности в антрацитовых районах Донбасса // *Сборник науч. трудов ШИЮФ ГТУ (НПИ) Ч. 2 Перспективы развития Восточного Донбасса*. Новочеркасск : Набла, 2007. С. 282–284.

© Ларченко В. Г., Мележик А. И., Коваленко Е. В.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. ГБП ДонГТУ Леоновым А. А.,
главным маркшейдером ООО «НПК Перспектива» Трезневой Д. С.**

Статья поступила в редакцию 25.02.2025.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ларченко Виталий Григорьевич, канд. техн. наук., доцент
г. Алчевск, Россия

Мележик Александр Иванович, канд. техн. наук., доцент каф. геотехнологий и безопасности
производств
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия

Коваленко Елена Владимировна, директор Центра карьеры
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия, e-mail: ck@dontu.ru

Larchenko V. G., Melezhik A. I., *Kovalenko E. V. (Donbass State Technical University, Alchevsk,
Russia, *e-mail: ck@dontu.ru)

DEPENDENCE OF SHIFTS AND DEFORMATIONS OF THE EARTH'S SURFACE ON THE QUALITY OF THE DESIGN OF MINE WORKINGS

Unsubstantiated technical decisions at the planning stage of mine workings are given, which caused the concentration of maximum deformations of the Earth's surface, resulting in excessive roll of the mine headframe, downtime of the mine, rupture of the irrigation system pipe, formation of cracks in the Earth's surface up to 0,8 m wide and hitches over 0,3 m high.

Key words: quality of engineering support for design works, causes of the concentration of surface deformations, reduction of coal losses in abutments, economic efficiency of mines.

References

1. GSTU 101.00159226.001-2003. Industry standard of Ukraine. Rules of undermining buildings, structures and natural objects during coal mining by underground method [Otraslevoj standart

Ukrainy. Pravila podrobotki zdanij, sooruzhenij i prirodnyh ob"ektov pri dobyche uglya podzemnym sposobom]. K. : UkrNIMI NAN Ukraine, 2004. 128 p. (rus)

2. Larchenko V. G., Kovalenko E. V. Matalkina Yu. A. Adjustment of calculation procedure of the expected shifts and deformations of the Earth's surface during undermining at great depth [Korrektirovka metodiki rascheta ozhidaemyh sdvizhenij i deformacij zemnoj poverhnosti pri podrobotke na bol'shih glubinah]. Knowledge-intensive technologies and equipment in industry and building. 2024. Iss. 3 (77). Pp. 30–40. EDN HAJRFF (rus)

3. Larchenko V. G., Kovalenko E. V. Khoruzhaia N. V. Calculation procedure for the expected Earth's surface shifts and deformations in half-moulds across the strike of strata [Metodika rascheta ozhidaemyh sdvizhenij i deformacij zemnoj poverhnosti v polumul'dah vkrest prostiraniya plastov]. Knowledge-intensive technologies and equipment in industry and building. 2024. Iss. 5 (79). Pp. 33–46. EDN MKKBPJ (rus)

4. Larchenko V. G., Kovalenko E. V. Matalkina Yu. A. Dependence of shifts and deformations of the Earth's surface on the undermining depth [Zavisimost' sdvizhenij i deformacij zemnoj poverhnosti ot glubiny podrobotki]. Transactions of RANIMI: VI mezhdunarodnaya nauchno tekhnicheskaya konferenciya "Gornaya geologiya, geomekhanika i markshejderiya" : the collection. Donetsk : RANIMI Ministry of Education and Science of the DPR, 2019. No. 8 (23). Ch. 1. Pp. 125–134. (rus)

5. Larchenko V. G., Matalkina Yu. A. Rock displacement in underground coal mining : textbook [Sdvizhenie gornyh porod pri dobyche uglya podzemnym sposobom : uchebnoe posobie]. Alchevsk : FSBEI HE "DonSTU", 2024. 147 p. (rus)

6. PB 07-269-98. Rules for the protection of structures and natural objects from the harmful effects of underground mining operations at coal deposits [Pravila ohrany sooruzhenij i prirodnyh ob"ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnyh gornyh razrabotok na ugol'nyh mestorozhdeniyah]. SPb. : Mezhotraslevoj nauch. centr VNIMI, 1998. 291 p. (rus)

7. Posyl'nyj Yu. V., Dzhulaj A. A., Teterin E. A. Maximum Earth's surface subsidence in anthracite areas of Donbass [Maksimal'nye osedaniya zemnoj poverhnosti v antracitovyh rajonah Donbassa]. Sbornik nauch. trudov Shakhtinskiy in-t (filial) YuRGU (NPI). Ch. 2. Perspektivy razvitiya Vostochnogo Donbassa. Novocherkassk : Nabla, 2007. Pp. 282–284. (rus)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Larchenko Vitaliy Grigoriyevich, PhD in Engineering, Associate professor
Alchevsk, Russia

Melezhik Aleksandr Ivanovich, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department
of Geotechnology and Industrial Safety
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia

Kovalenko Elena Vladimirovna, Director of Career Centre of DonSTU
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia,
e-mail: ck@dontu.ru